

上电后数据可由微机读出,这样提高了数据记录的可靠性。该记录器曾参加过某次搭载飞行试验,并成功地完成了在强振动、大冲击飞行过程中的数据采集和记录。

经过一定的处理,CPCB 磁泡存储器系统可进行积木式拼接(见图3),从而形成更大容量的子系统,提高数据传输率(见表1),基本可满足国内用户的各种要求。虽然磁泡存储器在国内应用尚不普遍,同时还处于半导体存储器和其他磁存储器的两面夹击,但它仍然以它的独特之处占据着自己的领域,特别是在军事、国防等领域的某些特殊环境中,将会起着十分重要的作用。

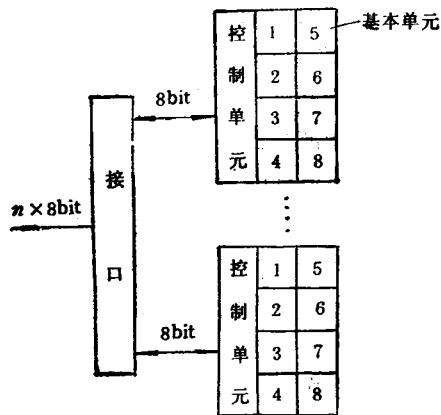


图3 CPCB 磁泡子系统拼接框图

表1 拼接后的部分指标(4Mbit单元)

总线/bit	基本单元/个	传输率/kbyte·s <sup>-1</sup>	容量/Mbit
8	1	25	4
	2	50	8
	4	100	16
	8	200	32
16	1	50	8
	2	100	16
	4	200	32
	8	400	64
32	1	100	16
	2	200	32
	4	400	64
	8	800	128

- [1] 刘英烈等,磁泡,科学出版社,(1986),1.
- [2] Intel Corp., BPK72 Bubble Memory Prototype Kit User's Manual, (1986), 6-3.
- [3] Intel Corp., Memory Components Handbook, (1984), 6-281.
- [4] F.J. Becker et al., IEEE Trans. Magn., MAG-16(1980), 770.
- [5] P.J. Hayes et al., IEEE Trans. Magn., MAG-16(1980), 773.
- [6] P. V. Cooper et al., Defense Electronics, 18-6 (1986),139.

## 隐 形 技 术 的 新 进 展

徐润君 陈心中

(中国人民解放军汽车管理学院, 蚌埠 233011)

从物理学的观点出发,分析了几种常用军事隐形技术的原理和机制,介绍了目前隐形技术的应用状况和研究方面的新进展,同时也指出了现有隐形技术的局限性,预示军事隐形技术的发展前景。全文内容体现了军事高科技与物理学基础理论之间相互依赖、相互促进的关系。

波的传播特性被广泛应用于军事侦察技术。可以说,利用各种军事侦察技术获取的目标信息,其物理实质基本都可看成波。目前,利

用雷达波进行侦察的雷达,利用可见光、红外线、激光等进行侦察的光探测设备,利用水波、声波进行探测的声纳和其他水声设备,构成了

现代战场上从水下、地(海)面、空中直至太空的大区域范围的多维化的侦察、监视与预警网。同时由于各种精确制导武器相继问世,极大地提高了各种侦察、武器系统的探测能力和命中精度,杀伤手段向着“发现即命中”的方向发展。在这种情况下,进攻的一方如果不能采用有效的措施隐蔽自己,就有可能出现“发难者先遭难”的结局。为了减小己方军事设施被对方侦察系统探测的概率,作为反侦察技术的隐形技术应运而生,并迅速发展起来。

军事中的隐形技术,是改变己方武器装备等目标的各种可探测信息特征,从而降低目标被对方探测系统发现概率的各种技术的统称。

隐形技术主要包括无源隐形技术和有源隐形技术两类。

所谓无源隐形技术,从物理学的观点来看,就是根据波的反射和吸收规律,在目标上采用吸波材料和透波材料,以吸收或减弱对方侦察系统的回波能量;根据波的反射规律,改变武器装备的外形与结构,使目标的反射波偏离对方探测系统的作用范围,从而使对方的各种探测系统不能发现或发现概率降低。

有源隐形技术就是设置新的波源,发射各种波束(如电磁波、声波等)来迷惑、干扰或抵消对方探测系统的工作波束,以达到隐蔽己方目标的目的。例如施放光弹或电子干扰波使对方的光电探测系统迷盲,施放电子诱饵使对方的探测系统跟踪假目标等。这类技术靠加强而不是减弱目标的可探测信息特征来达到目标隐形的目的。

目前人们所说的隐形技术,主要是指无源隐形技术。

隐形技术在军事领域的广泛运用,提高了武器装备和军事目标的生存能力,增强了兵器的突防能力,极大地提高了战斗、战役的突然性、剧烈性和区域性。

在现代军事侦察中,往往是多种技术手段同时进行,因此在反侦察的隐形技术中也要针锋相对地同时采用多种方法。但是,由于波的共同特点,有时采用一种技术措施,可对几种侦

察波同时起到隐形效果。当然,由于各种波有其自身的物理特性,因此也要根据具体情况相应采取一些不同的隐形技术措施。

## 一、雷达波隐形技术

雷达是探测空中目标方位和距离的重要手段。雷达发射的电磁波碰到各种物体时,会产生强弱不同的反射信号,金属物体对电磁波的反射特别强烈。雷达就是靠接收被目标反射的电磁波信号发现目标的。

波的反射定律指出,反射角等于入射角,若入射角等于零,则反射角也等于零。因此,只有当雷达电磁波的方向垂直于目标表面时,被反射的电磁波才能按原方向返回,这时雷达才能接收到较强的回波;而以其他角度射向目标表面的雷达电磁波都会被反射到别处,即发生散射效应。如果目标的表面能使雷达发射来的电磁波被散射或被吸收,就可大大减小被对方雷达发现的概率,从而达到“隐形”的目的。

目前已研究出的电磁波隐形技术主要包括以下内容:

### 1. 隐形外形技术

一般飞机的整体布局为圆形机身、平面机翼和垂直机翼,三者之间有明显的分界。根据电磁波所遵循的传播规律,当电磁波入射到物体的直角表面处,容易形成多次反射,而产生角反射器效应,反射雷达波很强。

为了达到隐形的目的,隐形飞机在总体外形上摒弃了一般飞机的常规设计方案,消除了机身与机翼之间、水平尾翼与垂直尾翼之间、飞机与发动机悬挂舱及武器吊舱、副油箱之间形成的近于 $90^\circ$ 的角,而采用多面、多锥体和飞翼式布置及燕尾形尾翼的设计,把机身与机翼融为一体。此外,还通过内装发动机和油箱等方式,将机身的突出部位减少到最低限度,使整个隐形飞机形成一种平滑的过渡,外表干净利落,以消除角反射器效应。例如,美国的F-117A隐形战斗机无外挂装置,武器都装在弹舱内<sup>①</sup>。

隐形飞机在部件的设计上也作了相应的改

进。例如，普通飞机的发动机进气道都在机身的下面，因管道笔直，雷达波可以从进气道直接射到发动机的风扇叶，产生强反射波。隐形飞机将发动机进气道设置在飞机的背部稍后，以凭借机身和机翼遮挡地面雷达波。进气道亦由圆筒形改为弯曲的蛇行状，道管内壁采用碳质折流板，即使有少量入射波，也会被碳质折流板所吸收。又譬如，隐形飞机还将雷达天线由抛物线形改为与飞机前进方向呈一定角度的平板形(即相控阵天线)；驾驶舱挡风玻璃呈扁平向后倾斜，并薄薄地熏镀上一层透明的金属以遮挡射向舱内的雷达波。

通过外形结构的改变，极大地减少了飞机对雷达波的强反射面。例如，老式 B-52 轰炸机的雷达波有效反射截面积有  $120\text{m}^2$ ，而改进外形设计后的 B-2 隐形轰炸机的雷达波有效反射截面积小于  $1\text{m}^2$ ，大大提高了突防能力<sup>[2]</sup>。

## 2. 隐形材料技术

隐形材料是隐形技术的重要组成部分之一。雷达波遇到隐形材料后，或被吸收，或被透过，使反射雷达波很少。

隐形材料主要有雷达吸波材料和雷达透波材料。

隐形材料吸波或透波的原理是：当雷达波作用于材料时，由于电、磁、光及活化面积等物理性能的变化，材料产生电导损耗、高频介质损耗和磁损耗等，使电磁能转换为热能而散发；或使雷达波能量分散到目标的各部分，减少雷达接收天线方向上反射的电磁能；或采用合适的材料厚度，使雷达波在材料表面的反射波与进入材料后在材料底层的反射波叠加发生干涉，相互抵消，起到减弱反射波的作用。有些材料不仅可起透波作用，还可起偏振作用。目前正在研制的碳纤维玻璃钢就是一种良好的透波材料。

隐形材料又可按其使用方法分为结构型和涂料型两大类。

结构型隐形材料用以制造目标的壳体和构件。它一般是以非金属为基体(如环氧树脂和热塑性材料等)，以铁氧体、石墨等为填充吸波

材料，形成既能减弱电磁波的反射强度，又能承受一定载荷的结构型复合材料。这些复合材料的内部均为不规则的多孔质的结构，无论是雷达波、红外线还是激光等，都会在材料中的蜂窝状结构内产生反复振荡，从而将雷达波、红外线等转换成热能散发掉。

涂料型隐形材料用以涂在目标表面。目前已广泛应用的涂料型隐形材料是由铁氧体、金属丝和金属氧化物超细粉末组成的涂料，可以起到吸波、透波和偏振等作用。近几年来，性能优异的新型隐形涂料不断出现。例如，美国研制的席夫碱视黄基盐类涂料，能迅速使电磁波转换成热能散发掉，从而达到吸波目的，使飞机的雷达反射波衰减 80%，而重量只有铁氧体的 1/10；“铁球”涂料包含有大量极微小的铁球，可通过弱电流传导将雷达波能量分散到整个飞机的外表面；“超黑色”涂料可吸收 99% 的雷达波；等离子体型涂料以钋-210、铜-242、铯-90 等放射性同位素为原料，可使飞行器表面外的空气形成等离子体层，不仅可吸收无线电波，还能吸收红外辐射，且具有吸收频带宽、吸收率高、使用简单、寿命长等优点，但要适当选择辐射源和控制辐射剂量，以免放射性对人体产生伤害。

80 年代中期以来，物理学家对纳米固体的研究发现，纳米固体在较宽的频谱范围内，显示出对电磁波均匀的吸收性能。例如，纳米复合多层膜在 7—17GHz 频率范围内的吸收峰高达 14dB。在 10dB 水平的吸收频宽为 2GHz。理论研究表明，几十纳米的纳米固体薄膜吸收电磁波的效果，与比它厚 1000 倍的现有隐形吸波材料相同。因此，若能采用纳米薄膜制成的吸波材料，将使战略武器的实战能力大大提高<sup>[3]</sup>。

## 3. 自适应阻抗加载技术

在不影响气动外形的前提下，在目标的金属表面开多条缝隙、洞或接腔体，并在其上接以分布或集中参数的阻容元件，改变蒙皮表面的电流分布，使其产生与雷达回波的频率、幅值相等但相位相反的附加辐射波。这一附加辐射波

在雷达接收天线方向上可与雷达回波相抵消,从而达到减小目标雷达反射截面积的目的。

#### 4. 微波传播指示技术

这种技术是利用电子计算机预测雷达波束在不同大气条件下的传播情况。由于大气层的温度、湿度等因素的影响,会使雷达波束的传播状况发生变化,在其覆盖范围内会产生“空隙”,并产生波瓣延伸;而且,雷达波在大气层内传播时将形成“传输波道”,其能量集中在“波道”内,“波道”外几乎没有能量。因此,利用计算机预测出雷达波在大气中的传播情况,使飞行器避开“波道”而在雷达波的“空隙”、“盲区”范围内飞行,就可避开对方雷达的探测,顺利进行突防。

## 二、可见光隐形技术

根据物理学原理可知,在可见光范围内,探测系统的探测效果决定于目标与背景之间的亮度、色度、运动这三个视觉信息参数的对比特征,其中目标与背景之间的亮度比是最重要的因素。如目标的结构体和表面的反射光,发动机喷口的喷焰和烟迹,灯光及照明光等,与背景亮度的对比度较大,容易被视觉发现。目标与背景的色度对比也是目标的重要目视识别特征,当目标相对于背景运动时(如飞机旋桨旋转),人们也容易观察到目标。因此,可见光隐形技术通过改变目标与背景之间的亮度、色度和运动的对比特征,来降低对方可见光探测系统的探测概率。

目前提出的反可见光探测的隐形技术措施主要有:

(1) 降低目标的光反射性能。例如,将飞机原有的曲面外形的座舱罩改为平板或近似平板外形的座舱罩,以减小太阳光反射的角度范围和光学探测器瞄准、跟踪的时间等。

(2) 控制目标与背景的亮度比。例如,目标的发动机采用不对称喷口,从而降低喷焰的温度和光强;采用转向喷口或对喷口进行遮挡,以使目标在探测方向上减小发光暴露区;改进

燃烧室的设计,使燃料充分燃烧,或在燃油中加入特殊添加剂,以减少烟迹;对夜间照明和信标灯光多的目标实行灯火管制;对必要的灯光在一定的角度范围内进行遮挡等。

(3) 采用迷彩手段控制目标与背景的色度比。例如在目标表面涂敷与周围色彩类同的颜色或挂伪装网,以使目标与背景的亮度和色度相当。目前正在研制的一种涂料,它能随着环境亮度的变化而改变自身的亮度和色度,以保证目标与背景随时处于一致的状态。

(4) 控制目标运动构件的闪光信号。试验表明,飞机二叶旋桨的闪烁信号要高于四叶或多叶旋桨;旋桨的频率高于16Hz时,可避免旋叶的明显闪光信号。

## 三、红外隐形技术

随着红外侦察、探测、制导和热成像处理技术的发展,反红外探测隐形技术显得越来越重要。

物理学的研究表明,任何温度高于绝对零度的物体都能发射红外线,不同温度的物体发射的红外线波长和强度不同。军事目标的发动机排出的热气流、使用着的武器装备、运行兵器与周围介质的摩擦等,都能引起目标温度与周围环境温度的差异,从而可以被对方的红外探测系统所探测到。反红外探测隐形技术除采用红外干扰有源隐形技术措施外,抑制武器装备等目标的红外辐射也是很重要的一个方面。

基于上述物理原理,抑制目标红外辐射的主要措施有:

(1) 改进发动机的结构,减弱兵器发动机本身的红外辐射。采用散发热量较小的发动机(如高函道比的涡轮风扇发动机、绝热式发动机等);采用吸热、隔热材料和涂料,用以抑制目标表面温度的上升以减弱红外辐射,例如用金属-石棉-金属夹层材料隔热,发动机的外表涂敷超高密度的碳质吸波材料,既可吸收雷达波,也可抑制发动机内部散发的热辐射。

(2) 研制性能优异的新燃料,改善燃烧状

况。例如在燃料中加入特殊的添加剂,以改变排气的红外辐射波长;改进燃烧室的设计,使燃油充分燃烧,以减弱红外辐射等。

(3) 改进发动机喷管设计,降低发动机尾焰的红外辐射。例如,用碳或陶瓷复合材料制造喷管;在喷口处安置红外挡板或以目标体遮挡,加装红外衰减装置或在排出气体中引入冷空气混合降温;采用S形二元喷管可滤除90%的红外辐射;采用可改变红外辐射波长的异型喷管使对方红外探测器失灵等。美国隐形飞机的发动机喷管采用可减少红外辐射的“软百页式”二元喷管,其矩形截面处装有热交换器,可以利用外部空气降低排气流温度,并使喷出的燃料完全燃烧,降低尾气温,以逃脱红外探测器的搜索。

目前国外正在研究一种利用气溶胶屏蔽尾焰红外辐射的方法,将含有金属化合物微粒(直径为 $1\sim 100\mu\text{m}$ )的环氧树脂、聚乙烯树脂等可发泡的高分子物质热气流,随喷气流一起喷出,在空气中遇冷雾化形成悬浮状泡沫塑料微粒;或将含有易电离的钨、钠、钾、铯等金属粉末的物质喷入发动机尾焰,高温加热电离,形成等离子体区。它们在尾焰喷流周围形成气溶胶屏蔽层,不仅可屏蔽红外辐射,而且是非常好的对付雷达波、激光和可见光探测的全频段的无源干扰物。

(4) 采用闭合回路冷却的环境控制系统,用以降低荷载设备的工作温度。

(5) 采用碳、铁氧体、石墨、新型塑料、陶瓷等复合和聚合材料作为涂料型或结构型的隐形材料,以降低自己一方军事目标的红外辐射、减少被对方红外探测系统发现的概率。例如,美国研制的轻、强型结构吸波板,由数层交错排列的塑料蜂窝板(隔音层)和电阻片(损耗层)组成,可将宽频带电磁波衰减约20dB;日本研制的陶瓷性材料吸收红外辐射的作用也很强。

美国的F-19隐形侦察/战斗机采取一系列红外隐身技术措施后,使其红外辐射减少了90%。

## 四、声波隐形技术

许多目标(如飞机、坦克和舰艇等)都会向周围介质(如空气、大地和水等)辐射高能级噪声声波,例如发动机等机械构件工作时的振动,目标本身及其螺旋桨等部件的运动,所排气体对周围介质的扰动等,都会发出噪声声波,这些声波极易被对方噪声传感器、声纳等声波探测系统探测到。

反声波探测隐形技术,就是控制目标声波辐射特征,降低对方声波探测系统探测概率的技术。

为了降低目标向周围介质传播的噪声,目前提出的主要技术措施有:

(1) 合理进行目标的整体设计。例如,改进发动机和辅助机的设计,采用超低噪声发动机和辅助机等,以降低发动机噪声;采用双弹性支承基座、橡胶、软塑料坐垫和履带等减振装置,不仅可以降低噪声,还可避免目标与周围结构发生共振。

(2) 应用吸声和阻尼声材料。例如,使用橡皮、塑料等非结构型雷达吸波装置,既可降低雷达波反射截面积,又可作为噪声阻尼器衰减机械振动;还可采用隔声罩、消声器、消声瓦等隔声。

(3) 减小螺旋桨等器械运动对介质的扰动噪声。例如,增加螺旋桨叶数并降低转速;舰艇采用主动气幕降噪声法;美国B-2型隐形轰炸机利用仿生学原理,采用锯齿形后缘,以降低飞行中的啸声。

美国的F-117A型隐形飞机采用全新设计的F-404型发动机,有良好的隔音效果,据报道,在跑道上距离其30m处,它所发出的声音不高于蜜蜂发出的嗡嗡声<sup>[4]</sup>。

采用上述技术措施后,虽能降低噪声,但不能完全消除噪声。因此,消除目标噪声问题目前还未能从根本上解决。

因为被动声纳不能探测水下不发声的静止目标,所以还有一种主动声纳。主动声纳发出

的声信号在海水中传播时,遇到目标被反射回来,由声纳接收机接收,即可探测到目标。因此采用在目标表面布设消声材料等声波隐形技术,可以大大降低目标被对方主动声纳探测的概率。

上述各种隐形技术都还存在着一定的局限性。因此,各种隐形技术要运用得当,不可过之,否则其局限性会更加明显。从目前的技术水平来看,采用各种隐形技术,只能降低目标的被探测概率,还不能达到完全隐形。新的更好的隐形技术还有待于物理学工作者和工程技术人员的进一步努力。人们预测,除隐形飞机外,

隐形技术将在 2000 年广泛应用于导弹、舰船、坦克、战车和火炮等各种兵器,这对未来战场的作战形式将会产生极其深刻的影响。

隐形飞机(兵器)的产生必然会推动反隐形技术的迅速发展。真可谓“魔高一尺,道高一丈”。“矛”与“盾”就是在对立之中各自不断地进行完善和发展的。

- [1] 沈明岐,兵器知识, No.3(1993),5.
- [2] 李淑瑜等,陆海空军高技术武器装备及作战应用集萃,国防大学出版社,(1993),244.
- [3] 张希曾等,现代物理知识,4-1(1992),17.
- [4] 杨立志等,高技术战略,军事科学出版社,(1992),457.

## 用热压法制备 NdFeB 各向异性粉末及粘结磁体

张正义 肖耀福 裘宝琴 刘伟璋

(北京科技大学材料科学与工程系,北京 100083)

将氢处理法得到的各向同性 NdFeB 粉末采用包套热压的方法处理,可获得各向异性粉末和粘结磁体。热压工艺参数(热压温度、形变量、热压速率)及热处理工艺条件对热压磁体的组织结构及磁各向异性有明显影响。热压法存在形变不均匀性,但可通过加大钢套尺寸和在钢套表面涂敷润滑剂的方法加以改善。

氢处理法成为继快淬法之后生产 NdFeB 磁粉及粘结磁体的另一途径<sup>[1]</sup>。氢处理法,也称为 HDDR 法,它是通过氢化—歧化—脱氢—重结晶过程得到细晶粒、高矫顽力 NdFeB 粉末的方法。也就是说, Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 晶体(NdFeB 合金的主相)在高温下与氢反应分解为 NdH<sub>2</sub>, α-Fe 和 Fe<sub>2</sub>B。然后迅速脱氢,重新结晶成 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 晶体。但由于该磁粉是各向同性,其磁性能尚嫌低,因此,探索 NdFeB 磁粉的各向异性化势在必行。Lee<sup>[2]</sup>和 R.Ray<sup>[3]</sup>等通过热压-热挤压法快淬 NdFeB 粉末,获得了各向异性粉末。T. Mukai 等<sup>[4]</sup>则采用热轧快淬粉末的方法获得了高性能各向异性 NdFeB 粉末。这说明各向同性 NdFeB 粉末可以通过热变形

的方法产生形变结构,从而达到各向异性化的目的。作者将 HDDR 法制备的各向同性粉末用包套热压的方法进行研究,同样获得了各向异性粉末及粘结磁体。本文叙述了热压工艺参数、热处理工艺对合金组织结构及磁性能的影响,并对热变形的不均匀性及减小不均匀性的方法进行了探讨。

### 一、样品制备及实验

将 HDDR 法制备的各向同性 NdFeB 粉末预压成型,装在钢套中焊封,然后在 INSTRON MODEL 1185 型材料试验机上进行热模压,样品的形变量和形变速率由计算机控制。热压后